

СИСТЕМИ АДАПТОВАНОГО ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

С. Г. Бондарев С.Г., к.т.н., доцент

А.М. Ребрій

І.О. Рибенко

О.В. Рясна

Сумський національний аграрний університет

Шпindelьні вузли даного типу відкривають новий напрям при проектуванні прецизійних верстатів 4-го покоління, являються складовими елементами верстатів оснащених системою адаптивного програмного керування (АПК), мають підвищену стійкість до зовнішніх впливів, як з боку сил різання, так і з боку елементів верстата. Робота шпindelьного вузла здійснюється при оптимальних технічних параметрах, контрольованих з боку ЕОМ, дозволяє отримати підвищену параметричну надійність вузла.

Ключові слова: шпindelьний вузол, верстат, адаптивна виробнича система, оптимальні технічні параметри, надтверді матеріали.

Постановка проблеми. Для технологічного обладнання основне значення мають вимоги, щодо якості виробів при заданій продуктивності та мінімумі відходів. Зокрема для металообробного устаткування - вимоги до точності оброблюваних поверхонь заготовок.

Точність деталей і механізмів за умовою їхньої задовільної роботи повинна забезпечувати точне відносне положення та рух складових, обмеження динамічних навантажень, концентрації навантажень і напруг, оптимальні зазори й натяги в сполученнях і т. п. Технічні вимоги до точності й шорсткості оброблюваних поверхонь деталей машин устанавлюються виходячи з міркувань забезпечення фізико-механічних вимог поверхневого шару, точності положення деталей у машині, антифрикційних і фрикційних властивостей, міцності й твердості, опору об'ємної й контактної утоми тощо.

Похибки металорізальних верстатів підрозділяються [6] на: власні, не пов'язані із зовнішніми впливами (погрішності виготовлення, погрішності, обумовлені принципом роботи машини, або процесу); похибки від зовнішніх впливів без необоротних змін у системі (пружні й температурні деформації, вібрації); похибки від необоротних змін параметрів машини (зношування, старіння, деформація тощо).

Основною причиною виходу з ладу металорізального устаткування є втрата точності через зношування напрямних, підшипників кочення (ковзання), температурні деформації та інше). Для продовження терміну служби, верстати виготовляються з технологічним запасом точності, яка втрачається з часом при експлуатації, а виготовлення верстатів з необґрунтованою підвищеною точністю суттєво збільшує їх собівартість (рис. 1).

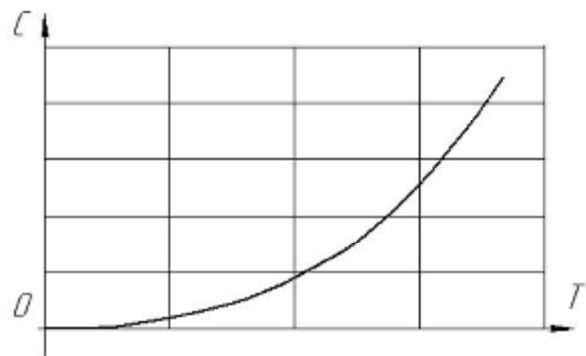


Рис. 1. Залежність собівартості технологічного обладнання C (грн.) від його точності T (мкм).

Аналіз останніх досягнень. На сьогоднішній день для отримання прогнозованої точності обробленої поверхні на металообробних верстатах (звичай підвищеної точності) застосовується система адаптованого програмного керування (АПК). В основі цієї системи лежить ідея адаптації (автоматичного пристосування) системи керування до параметрів що змінюються, складових верстата, інструмента та заготовки. Принципова відмінність верстатних систем АПК від звичайних систем ЧПК полягає в тому, що процес керування в них перебуває в прямої залежності від протікання процесу обробки. Новою якістю таких систем керування є самонастроювання параметрів, законів керування приводами подачі та головного руху. У системах АПК більш високі показники по точності й продуктивності досягаються завдяки використанню інформації від низки датчиків, щодо самонастроювання структури та параметрів системи керування. Структурно-функціонально схема системи АПК граничного типу представлена на рисунку 2.

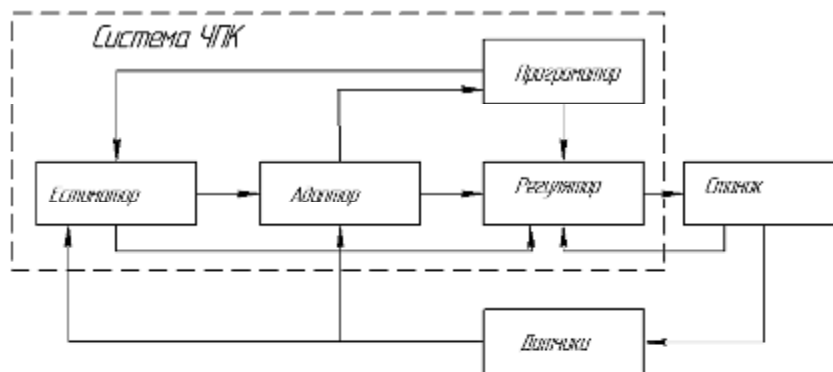


Рис. 2. Структурно-функціонально схема системи АПК верстата

Вона, як і система ЧПК, включає до себе:

- Програматор - модель автоматичної побудови та корекції програми обробки.
- Регулятор – модель формування керуючого впливу на приводи верстата, який охопчений внутрішніми локальними зворотними зв'язками (зазвичай по величині подач, та швидкості шпинделя).
- Естиматор – модуль, який оцінює якість перехідних процесів та точності обробки.
- Адаптор – модуль самонастройки структури і параметрів регулятора (а в разі необхідності і програматора), який отримує необхідну для адаптації інформацію від датчиків.

Датчики формують сигнали зворотних зв'язків не тільки про величини подачі і швидкості обертання шпинделя (як це прийнято у звичайних верстатах оснащених системою ЧПК), але й про силу різання, розмірні відхилення заготовки $\Delta\epsilon$ (рис. 3), переміщення, або знос інструменту тощо. Прикладом роботи верстату з АПК на базі мікроЕОМ може служити трьохкоординатний вертикально – фрезерний верстат, що керується від ЕОМ РР-320 [9].

Одним з головних об'єктів від якого залежить точність обробленої поверхні є шпіндельний вузол (ШВ). Дотепер спроби зробити керованими підшипники кочення (ковзання) не мали істотного успіху, оскільки проблема є надзвичайно багатогранною.

Основа сучасного прецизійного технологічного устаткування, складають комплектуючої підвищеної точності, монтаж, який ведеться фахівцями найвищої кваліфікації. Однак самий ретельний монтаж верстата не завжди забезпечує необхідну в роботі параметричну точність. Прецизійне технологічне устаткування практичне не пристосовано протистояти зовнішнім фізичним впливам (перепад температури, вибухи грому, падіння важкого предмета тощо), та може призвести до розбалансування сил у системі «верстат - інструмент – деталь», у результаті чого на обробленій поверхні можуть з'явитися дефекти у вигляді відхилення від циліндричності, подряпини, потовщення, локальна шорсткість, хвилястість та т. п.

Існуючі на сьогодні термостатовані цехи, призначені для термічної ізоляції технологічних систем від впливу факторів оточуючого середовища, потребують значних фінансових витрат, які компенсуються збільшенням собівартості готового виробу.

Ця проблема вирішувалась у роботах [1, 2, 3, 4 ...], але до сьогодні раціональної системи, яка могла б скоротити до мінімуму ланцюг від механіки до керуючої ЕОМ не існує. Кожна з них, з різних причин не знайшла широкого впровадження у виробництво. Це пов'язано з поєднанням непомітних протиріч, а саме; ШВ повинен мати достатню жорсткість, з іншого - можливість корегуючого (з боку ЕОМ) переміщення у радіальному та осьовому напрямках у межах похибок (зокрема похибки, які спричинені тепловими деформаціями), що підлягають компенсації.

Постановка задачі. Проектувати технологічне прицевійне обладнання (ТПО) необхідно на основі комплексного підходу, не тільки в системі «верстат-інструмент-деталь», але й враховувати особливості навколишнього середовища, де буде працювати система. Загострення особливої уваги на одному з них і зневага іншим, може звести нанівець ефективність розробки нової системи в цілому.

Технологічні системи (ТС) подібно живому організму повинні мати можливість самостійно набувати технічні підсистеми і їхні параметри на виконання визначених заданих функцій. Ідеальна ТС не має потреби в ремонті і технологічному обслуговуванні в плинні усієї своєї життєдіяльності. Це дуже важливо при роботі ТС, як модуля в складі гнучкого автоматизованого виробництва (ГАВ), оскільки низька параметрична надійність окремих елементів різко знижує надійність усієї системи в цілому.

З метою оптимізації технологічних параметрів (жорсткість шпіндельного вузла, необхідні зазори в парах тертя на різних статичних і динамічних навантаженнях при різній температурі, допустима вібрація, точність взаємного розташування осі симетрії шпіндельного вузла, щодо інструмента, що різє і т. п.) технологічне устаткування повинне бути адаптоване до ЕОМ. У будь-

який момент часу система повинна не тільки відслідковувати параметри своїх складових, але й у разі потреби вводити корегування з метою оптимізації роботи останніх.

Одним з найбільш важливим елементом підсистеми, що відповідає за точність обробленої поверхні є шпindelний вузол (ШВ) верстата.

Мета дослідження полягає в структурному моделюванні ШВ, що дозволяють одержувати високу точність обробки заготовок протягом усієї життєдіяльності устаткування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити одну з головних задач, - пошук схем для реалізації принципу саморегулювання з метою стабілізації положення осі симетрії шпинделя щодо інструмента.

Методи рішення. У даній роботі розглянуті ШВ для верстатів токарної, розточної та шліфувальної груп, у яких використовуються гідродинамічні підшипники. Зазвичай, шпindel встановлюється на двох радіальних і одному осьовому підшипнику.

При синтезі структури ШВ найбільш складною задачею був вибір принципу здійснення саморегулювання. По ряду критеріїв (простота конструкції, можливість максимально простого сполучення з регулятором, компактність, низька вартість, мінімальний час на введення корегувань і т. п.) був проведений ретельний аналіз схем, що дозволяють реалізацію саморегулювання [1, 2, 3, 4].

У результаті найбільш раціональної виявилася схема, у якій в якості активного елемента був застосований п'єзоелемент [1]. На рисунку 3 зображена принципова схема ШВ із саморегулюванням параметрів.

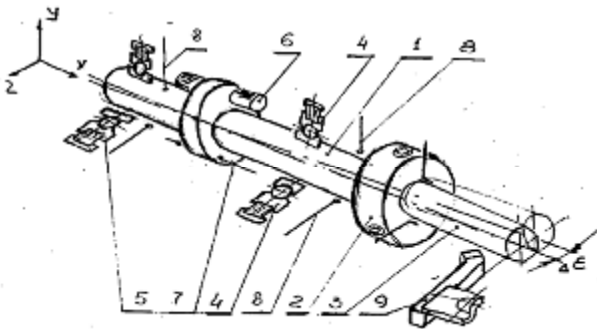


Рис. 3. Елементи системи «верстат - інструмент - деталь», які є складовою системи АПК. 1 – шпindel, 2 - кулачковий патрон, 3 – заготовка, 4, 5 – радіальні гідродинамічні підшипники ковзання, 6 – осьові гідродинамічні підшипники ковзання, 7, 8 – датчики відповідно осьового, та радіального відносного переміщення шпинделя, 9 – заготовка.

Як було зазначено після вмикання верстата, на протязі певного часу теоретична точка (ТТ), тобто точка, яка лежить на осі симетрії шпинделя на певній відстані від її торця) шпиндельного вузла здійснює переміщення $\Delta \epsilon$ (рис.4).

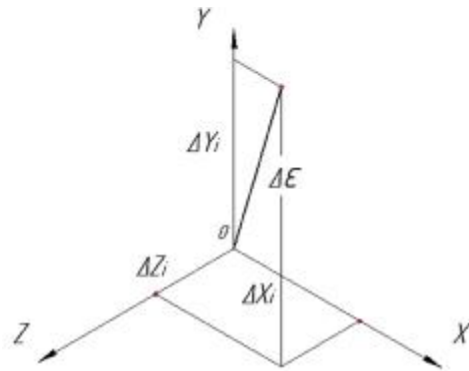


Рис. 4. Дрейф теоретичної точки на величину $\Delta \epsilon$ уздовж часу стабілізації параметрів ШВ.

Величина похибки $\Delta \epsilon$ не є фіксованою уздовж певного часу і може змінюватись в залежності від особливостей конструкції певного верстата, потужності його двигунів (електричних, гідравлічних тощо) зовнішньої поверхні контактування тепло випромінюючих елементів з навколишнім середовищем і т. і. Величина $\Delta \epsilon$ складає:

$$\Delta \epsilon = \sqrt{\Delta z_i^2 + \Delta x_i^2 + \Delta y_i^2} \quad (1)$$

де Δx_i , Δy_i , Δz_i – відповідно переміщення по осям - x, y, z.

Після проходження певного часу ТТ займає певне положення і похибка $\Delta \epsilon$ практично не змінюється. Це пов'язано перш за все з тим, що в технологічній системі наступає температурна рівновага, тобто температурна деформація не змінює геометричні параметри складових верстата. Зокрема це стосується коробок швидкостей та подач.

Зазначені переміщення компенсуються лінійним переміщенням п'єзоелементів 4, 5 – радіальних, та 6 – осьових гідродинамічних підшипників ковзання (рис. 3). Переміщення здійснюється шляхом подачі відповідних фіксованих електричних сигналів, що подаються з регулятора системи АПК на п'єзоелементи, аби повністю ліквідувати похибку $\Delta \epsilon$. Потрібно також зазначити, що визначення похибки $\Delta \epsilon$ здійснюється постійно уздовж роботи обладнання з шагом тестового сигналу у соті долі секунди.

Система АПК працює таким чином. Після включення верстата, система АПК з адаптера подає тестовий сигнал. На підставі інформації, що надходить від датчиків ШВ до адаптера у останньому протікає обробка отриманої інформації. У разі потреби, за допомогою регулятора, що коректує сигнал подається на виконавчі елементи гідродинамічних підшипників ШВ у вигляді відповідної напруги і частоти.

В умовах зміни факторів, як зовнішніх (зміни сил різання, температури навколишнього середовища і т. п.), так і внутрішніх (зміна температури корпусу, складених елементів верстата, мастила, тощо) відбувається коректування положення шпинделя, щодо ріжучого інструмента, тобто система АПК ліквідує похибку $\Delta \epsilon$ ($\lim \Delta \epsilon \rightarrow 0$).

Домінуючими параметрами ШВ є: зазори в гідродинамічному підшипнику, відносна положення шпинделя, температура складових елементів ШВ, знос поверхонь, які підлягають тертю, частота оборотів, величина вібрації, зовнішні навантаження і т. п.

Функціонально-статистична модель відмовлень ШВ виражається цільовою функцією $r(t)$, що характеризує вихідний параметр системи - її параметричну надійність:

$$r(t) = \varphi (A_1 \dots A_{до}, B_1 \dots B_n, C_1 \dots C_m, X_{t1} \dots X_{tk}, t), (2)$$

де $r(t)$ – параметрична надійність системи, φ – функціональна залежність між елементами контролю і механізмами виконання, $A_1 \dots A_{до}$ – радіальне відхилення вала, $B_1 \dots B_n$ – осьове переміщення вала, $C_1 \dots C_m$ – зазори в підшипниках ковзання, $X_{t1} \dots X_{tk}$ – температура елементів ШВ, t – параметр наробітку.

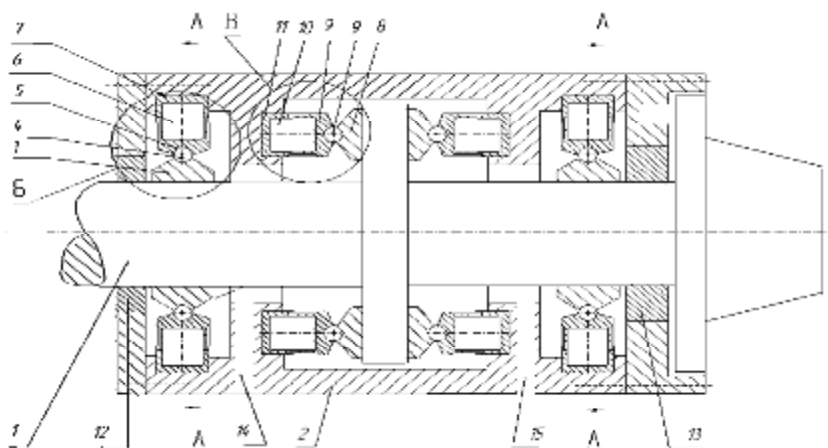


Рис. 5. Приклад виконання ШУ

ШВ складається з шпинделя 1, який за допомогою двох радіальних гідродинамічних підшипників (перетин А-А), і одного осьового, (вид В), встановлюється у корпус 2. Кожен радіальний гідродинамічний підшипник призначений для сприйняття радіальних навантажень і складається (не менш 3-х) з радіальних секторних елементів 3, що за допомогою кульки 4 поєднаний з опорною склянкою 5. Склянка 7 запресована у корпус 2. У внутрішню циліндричну порожнину склянки 7 впресований циліндричний п'єзоелемент 6, який водночас також впресований і в опорну склянку 5. Розглянутий гідродинамічний підшипник призначений для сприйняття осьових навантажень на ШВ і складається з парних, симетрично розташованих (не менш 3) активних опорних елементів, виконаних аналогічно радіальним гідродинамічним підшипникам. Диск на шпинделі 1, по обидва боки, якого встановлені опорні елементи, що складаються з торцевого секторного елемента 8, за допомогою кульки з'єднаний з опорною склянкою 9. Склянка 11 впресована у корпус 2, у який в свою чергу однією частиною запресований циліндричний п'єзоелемент 10, а другий в опорну склянку 9. Між корпусом 2 і спи-

Результати досліджень. У результаті проведених досліджень встановлено, що запропонована система АПК і як її складова ШВ дозволяє усунути не тільки похибки, викликані тепловими деформаціями елементів верстата, але і компенсувати зазори в підшипниках ковзання, внаслідок зносу. Крім того, через велику жорсткість п'єзоелементів і мінімальний час лінійної зміни, з'являється можливість вводити протифазний сигнал на резонансних частотах.

Проведені дослідження свідчать про те, що ШВ даного типу дозволяють підвищити точність обробленої поверхні до 2-х разів, при цьому завдяки використанню менш точного технологічного обладнання собівартість технологічної операції може знижуватися до 3-х і більше разів.

Приклад, принципової схеми ШВ зображений на рис. 5.

ндем 1 з метою герметизації внутрішньої порожнини ШВ встановлені ущільнювальні елементи 12 і 13.

Для контролю радіального переміщення шпинделя по осі Y і Z у корпусі встановлені датчики положення шпинделя 14 і 15. Для контролю осьового переміщення по осі Xв корпусі встановлений датчик 16.

ШВ працює у такий спосіб. Перед початком обертання шпинделя система АПК робить тестування основних параметрів. У випадку їхньої невідповідності блок керування ШВ за допомогою адаптатора робить необхідне коректування. Після повторного запуску тестової програми у випадку позитивного результату, включається двигун головного привода, відбувається розгін шпинделя і вихід на робочий режим.

Висновки. Шпиндельні вузли даного типу відкривають новий напрямок при проектуванні прецизійних верстатів 4-го покоління, та є складовими елементами верстатів оснащення системою адаптивного програмного керування (АПК), мають підвищену стійкість до зовнішніх впливів, як з боку сил різання, так і з боку елементів верстата. Робота шпиндельного вузла здійс-

нюються при оптимальних технічних параметрах, керованих з боку ЕОМ, дозволяє одержати підвищену параметричну надійність вузла, а отже

працювати у складі гнучкого автоматизованого виробництва.

Список використаної літератури:

1. Бондарев С.Г. Гидродинамическая сегментная опора. Патент №1834997 от 15.08.93г. Бюл. №30.
2. Комисаров В.И., Леонтьев И.И. Точность, производительность и надежность в системе проектирования технологических процессов. - М.: Машиностроение. 1985. - 224с.
3. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение. 1978. 592 с.
4. Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке: Учеб. пособ. - М.: Высш. шк. 1989. - 432с.
5. Невельсон М. С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках.— Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1982.— 184 с.
6. Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков, М: Машиностроение, 1986.— 336 с.
7. Тимирязев В. А. Управление точностью гибких технологических систем: Обзор.—М.: НИИМАШ, 1983.— 64с.
8. Пуховский Е. С., Технологические основы гибкого автоматизированного производства. Учеб. пособие.— К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989.—240с., 87 ил.
9. Булгаков А.А. Програмное управление системами машин. М.: Наука, 1980.264 с.

Бондарев С.Г., Ребрий А.Н., Рыбенко И.А., Рясна О.В. Системы адаптированного программного управления станков повышенной точности

Шпиндельные узлы данного типа открывают новое направление при проектировании прецизионных станков 4-го поколения, являются составными элементами станков оснащенных системой адаптивного программного управления (АПУ), имеют повышенную стойкость к внешним воздействиям, как со стороны сил резания, так и со стороны элементов станка. Работа шпиндельного узла осуществляется при оптимальных технических параметрах, контролируемых со стороны ЭВМ, позволяет получить повышенную параметрическую надежность узла.

Ключевые слова: *шпиндельный узел, станок, адаптивная производственная система, оптимальные технические параметры, сверхтвердые материалы.*

Bondarev S., Rebriy A., Rybenko I., Ryasna O. System adapted software management tools of high accuracy

Self-control spindle units open a new direction at designing precision machine tools of 4-th generation. They are components of machine tools with equipment by system of adaptive program management, have the increased resistance external influences, both from forces of cutting, and from elements of the machine tool. Work of spindle unit is carried out at optimum technical parameters which the computer cope that allows to receive increased parametrical reliability of unit which works in structure of the flexible automated manufacture. Spindle unit intended for blade processings of "rotation surfaces" preparations, both metal (from nonferrous metals) and made of pig-iron which hardness is more HRC 65. The given unit intended for finishing operations also can be used for processing preparations by cutters from superfirm materials. Feature given spindle unit is that that its turns can reach 10000 rev. per minutes. And it is more, that allows to use such superfirm materials as Elbor-R, Gexanit-R-P, Belbor-R and other which speed of cutting reaches up to 5000 meters per minutes and above. Except for that machine tool the equipment with such spindle units has operated rigidity which can reach up to 100 kg per microns. Also can effectively work on the combined operations in which two operations are incorporated in one, for example semifinishing with finishing.

Keywords: *spindle units, machine tools, adaptive equipment system, optimum technical parameters, superfirm materials*

Стаття надійшла в редакцію 20.10.2014р.

Рецензент: д.т.н., професор Тарельник В.Б.